

체인 텐서너 개발을 통한 엔진 고온 아이들 이상소음 개선

선 영 택* · 김 일 환

보그워너평택 제품기술부

Engine Hot Idle Abnormal Noise Improved by Chain Tensioner Development

YoungTaek Sun* · IlWhan Kim

Product Engineering Team, BorgWarner Pyongtaek, 47-18 Cheongbulsandan-ro, Cheongbuk-eup, Pyeongtaek-si, Gyeonggi 17792, Korea
(Received 21 May 2021 / Revised 15 June 2021 / Accepted 23 June 2021)

Abstract : The engine timing chain system uses chains to transfer power from the engine crankshaft to the camshafts, and control engine timing. Hydraulic tensioners are normally applied for the proper operation of the chain system. In addition, it is controlled by hydraulic forces using engine oil and mechanical force from the spring. Recently, new technologies have been applied to the engine valve train in order to increase engine power and improve fuel efficiency. It also causes engine crank torsional vibration and cam torque increase, thus affecting stable chain motion and resulting in abnormal engine noise and vibration. Although timing chain system components are not the main cause for abnormal NVH, it was improved through the development of new hydraulic tensioners. Through this paper, we would like to explain the correlation between tensioner flow control factor and abnormal NVH. Furthermore, a new tensioner specification will be introduced for the improvement of engine abnormal noise.

Key words : Timing chain system(타이밍 체인계), Hydraulic tensioner(유압식 텐서너), Hydraulic force(유압력), Mechanical force(기계적 구동력), Flow control factor(유량 조절 인자), Abnormal NVH(비정상 소음 진동)

Nomenclature

f	: oil flow, cc/s
w	: width, mm
d	: depth, mm
VCT	: variable cam timing
PRV	: pressure relief valve
PBC	: tensioner piston-bore clearance
HPC	: tensioner high pressure chamfer
NVH	: noise, vibration, and harshness
F	: chain tension, N
P	: HPC pressure, MPa

Subscripts

M	: main oil flow
L	: leakage oil flow

1. 서론

타이밍 체인 시스템은 체인, 텐서너, 스프로킷, 텐서너 암 및 체인가이드 부품으로 구성되어 엔진의 크랭크 축과 캠 축의 동력을 전달하고 엔진 타이밍을 제어한다. 주로, 승용차용 가솔린엔진 및 디젤엔진에 적용하여 흡기 및 배기 밸브의 개폐를 위해 크랭크 축과 캠 축의 회전수를 2:1이 되도록 작동한다. 시스템을 구성하는 주요 부품인 체인 텐서너는 유압식과 기계식 텐서너로 구분되며 유압식 텐서너가 주로 적용된다. 엔진 오일의 압력에너지를 이용한 유압력과 스프링의 기계적 구동력으로 체인 구동을 제어하는 유압식 텐서너는 내부에 체크밸브와 유량조절을 통해 고압실 압력을 조절하는 감압밸브 및 벤트 디스크가 조립되어 엔진에서 공급되는 오일의 압력에너지를 이용하여 작동된다.

Fig. 1은 일반적인 체인 시스템의 구성을 표현한다. 체

*Corresponding author, E-mail: ytsun@borgwarner.com

[†]This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

인 텐서너는 체인 장력의 변화를 유발하는 크랭크 비틀림 진동과 캠 토크에 동적으로 반응하며 적절한 힘을 텐서너 암에 전달하여 체인의 구동을 조절하고 체인이 연신 되더라도 적절한 장력을 유지할 수 있도록 제어한다. 선행된 연구 결과에 따르면, 타이밍 체인계의 장력을 결정하는 주요 부품인 텐서너가 체인에 가하는 힘이 변화하는 경우, 체인의 장력, 진동 및 전달 오차가 힘의 증감에 따라 같은 경향으로 변화한다.¹⁾ 그리고, 일반적으로 사용되는 엔진 회전 속도 범위 내에서 전술한 인자들의 변화에 따라서 주행 중 소음 및 진동도 변화하는 경향이 보고되어 왔다.

유압식 텐서너는 유량을 제어하는 과정에서 발생하는 유압에너지를 이용하여 체인거동 및 장력을 조절한다. 그래서, 엔진으로부터 공급되는 오일의 압력에 따라서 텐서너 작동력이 변화하고 체인장력과 거동에 영향을 준다. 엔진 오일압력이 낮은 저속 조건에서는 체인 장력이 낮고 체인 거동이 증가하는 반면 오일 압이 높은 고속 조건에서는 체인장력이 증가하고 체인거동은 안정화된다. 특히, 최근 엔진의 출력이 증가하고 연비 향상을 위하여 밸브 타이밍계에 신기술이 적용되면서 체인 장력 및 거동에 영향을 주는 엔진 크랭크 비틀림 진동과 캠 토크가 증가되는 등 체인의 안정적인 거동에 불리한 사용조건이 발생하여 비정상적인 엔진 소음 및 진동을 유발하고 있다. 이러한 환경에서 기존 텐서너 사양 만으로는 텐서너의 작동력에 영향을 주는 오일압력이 낮은 엔진 아이들 조건의 비정상적인 소음 및 진동을 개선하기에는 부족하다. 그래서, 유압식 텐서너의 유압 및 유량과 연관된 설계인자를 변경하여 텐서너 유압강성 및 엔진 이상소음 간의 상관관계를 파악하고 이를 기반으로 텐

서너를 개발하여 엔진의 비정상적인 진동을 개선하였다. 본 논문에서는 엔진의 이상소음 개선을 목적으로 개발한 텐서너의 유량조절인자의 변경을 통한 개선효과를 실험결과 분석을 통해 소개하고자 한다.

2. 유압식 텐서너

텐서너는 타이밍 체인 및 벨트와 함께 적용하여 해당 부품이 적절한 장력을 유지하며 회전 구동을 할 수 있도록 기계적 및 유압식 힘을 조절하는 장치이다. 타이밍 체인계에 주로 적용하는 유압식 텐서너는 텐서너바디, 피스톤, 스프링, 체크밸브 및 유량조절부품으로 구성되어 유압 댐핑력에 의해 작동하는 동적 반응 장치이다.²⁾ Fig. 2는 텐서너의 구성품을 설명하기 위한 단면도이다.

유압식 텐서너의 작동에너지 원천은 스프링에서 발생되는 기계적 구동력과 유압 제어를 통한 유압력으로, 유압력이 충분하지 않은 엔진 시동시에는 스프링의 힘으로 제어하다가 텐서너 내부의 유압이 충분히 유지되면 유압력을 이용하여 체인 장력 및 거동을 제어한다. 엔진의 캠토크와 크랭크 비틀림 진동으로 인해서 발생하는 체인거동은 텐서너 암을 통해서 텐서너 피스톤을 펌프 작용시켜 텐서너 내부 고압실의 압력이 상승하고 이때 발생하는 유압력을 이용하여 체인거동 및 장력을 조절한다. 그리고, 유체의 누설로 인하여 유압이 저하되면 체크밸브를 통해 엔진으로부터 오일이 텐서너 내로 이동하고 다시 펌프작용을 반복한다. 이러한 텐서너의 작동 특성으로 인하여 텐서너의 오일 누설과 체크밸브의 응답성은 체인계의 기능에 영향을 주는 주요인자이다. Fig. 3은 텐서너 내의 유체흐름을 나타내는 그림이다.

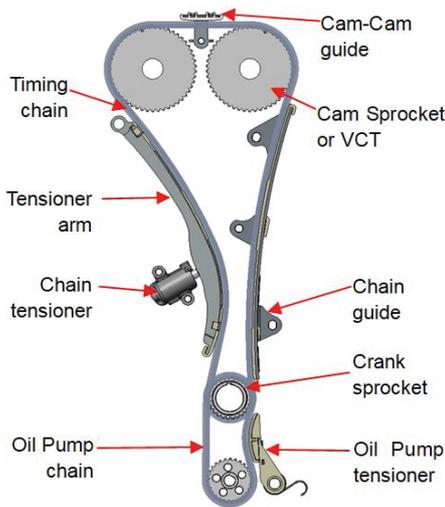


Fig. 1 Configuration of the timing chain system

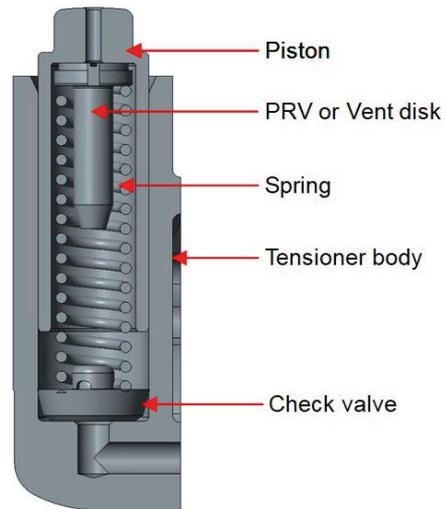


Fig. 2 Configuration of the hydraulic tensioner

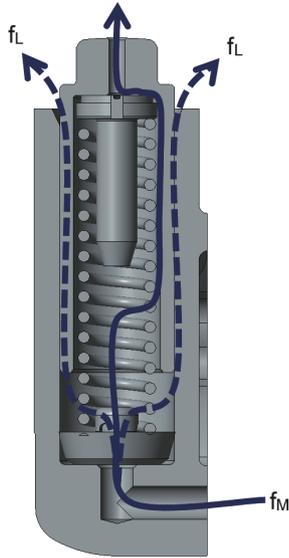


Fig. 3 Diagram of oil flow in hydraulic tensioner

3. PRV 및 Vent Disk

전술한 바와 같이 유압식 텐서너의 작동에너지 원천인 유압력을 조절하여 체인 시스템이 적용되는 엔진 환경에 적절하게 제어하는 방법을 텐서너 튜닝(Tuning)이라고 부른다. 텐서너 튜닝은 일반적으로 텐서너 내부의 오일압을 오일의 누설량으로 조절하며, 가장 단순한 튜닝방식은 텐서너 바디 내경과 피스톤 외경의 치수차이를 통해 틈새를 조절하여 오일 누설량을 조절하는 방식이다. 이 틈새를 PB간극이라고 부르는데 관련 부품인 텐서너 바디 보어와 피스톤 외경의 가공에 필요한 공차내역이 존재하여 이 간극을 조절하는 방식으로는 세밀한 텐서너 튜닝을 하기에는 한계가 있다. 이 방식을 개선하기 위하여 벤트 디스크(Vent disk) 및 감압밸브가 개발되었고, 이 부품을 통해 텐서너 유압력의 미세한 조절이 가능하여 엔진 환경에 적절한 텐서너 튜닝이 가능하다.

Fig. 4는 벤트 디스크와 감압밸브의 형상을 나타낸 것으로 머리부의 유로의 깊이, 너비 및 길이에 의하여 텐서너의 오일 누설량을 조절한다.³⁾ 유로의 치수 및 형상을 다양하게 변경하여 여러 종류의 벤트 디스크를 제작할 수 있으며 이를 변경하면서 텐서너의 유압력을 조절하여 엔진환경에 적절한 텐서너로 튜닝할 수 있다. 단, 벤트 디스크는 오일 누설 유량이 텐서너 내부의 압력에 따라 선형적으로 변화하기 때문에 유압력제어에 한계가 있다. 최근 엔진의 출력증대와 연비개선을 목적으로 대부분의 엔진에서 체인 시스템의 거동에 영향을 주는 크랭크 비틀림 진동과 캠 토크가 증가되어 체인거동을 좀더 세밀하게 제어할 텐서너의 필요성이 증대되었다.

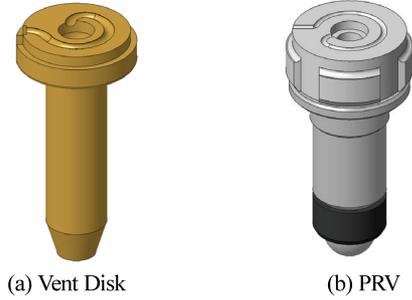


Fig. 4 Vent Disk and PRV

특히, 엔진 회전속도가 낮을 경우 엔진 오일압이 낮아 텐서너의 유압력도 체인의 거동을 제어하기에 충분하지 않을 수 있다. 이 경우 텐서너에서 누설되는 오일 유량을 감소시키는 튜닝이 이루어져야 하는데 이를 위하여 텐서너 바디 내경과 피스톤 외경의 틈새를 좁게 조절하기에는 부품 가공공차 적용에 한계가 있으며 벤트 디스크를 변경하여 조절하는 경우 엔진이 저속으로 작동할 때는 충분히 제어하지만 고속시에는 엔진 오일압의 상승으로 인한 텐서너 유압력 증가가 체인장력을 급격히 증가시킬 수 있다. 이러한 이유로, 감압밸브의 적용이 요구되는 환경이 증가되고 있다. 감압밸브는 머리부에 벤트 디스크와 유사한 형상의 유로를 갖고 있으며 몸체 내부에는 스프링과 볼을 이용한 밸브의 역할을 수행할 수 있어 엔진 오일압이 낮은 아이들 영역의 경우 텐서너의 오일을 머리부의 유로를 통해서만 누설하여 유압력을 충분히 보유하고, 엔진이 고속으로 작동하여 오일압이 증가할 때는 감압밸브가 작동하여 텐서너의 오일일 충분히 배출함으로써 체인장력의 급격한 상승을 방지할 수 있다. 특히, 엔진 아이들 영역에서 이상소음이 발생하는 경우, 체인 거동을 제어하는 목적으로 감압밸브가 적용되고 있다.

4. 엔진 이상소음과 텐서너 유압강성

체인 시스템과 연관된 엔진소음은 엔진 크랭크 스크로켓 잇수와 관련된 차수로 분석이 가능한 화인소음⁴⁾과 체인 및 엔진 부품의 이상 거동에서 발생하는 티킹소음이 있다. 특히, 본 논문에서 언급되는 소음은 티킹소음의 한 종류로 엔진을 개발하는 과정에서 엔진의 캠의 이상 거동으로 인하여 엔진 2회전당 1회의 소음이 발생하였다. 특히, 소음은 엔진 온도가 110 °C 이상이고 오일압이 낮은 아이들 구간에서 발생하거나 증폭되었다. 체인시스템 부품이 소음 발생의 원인 부품은 아니지만 엔진 저속구간의 체인장력이 증가하고 체인 거동이 안정적일수록 소음은 감소되는 현상을 확인하였다. 이상소음과 텐

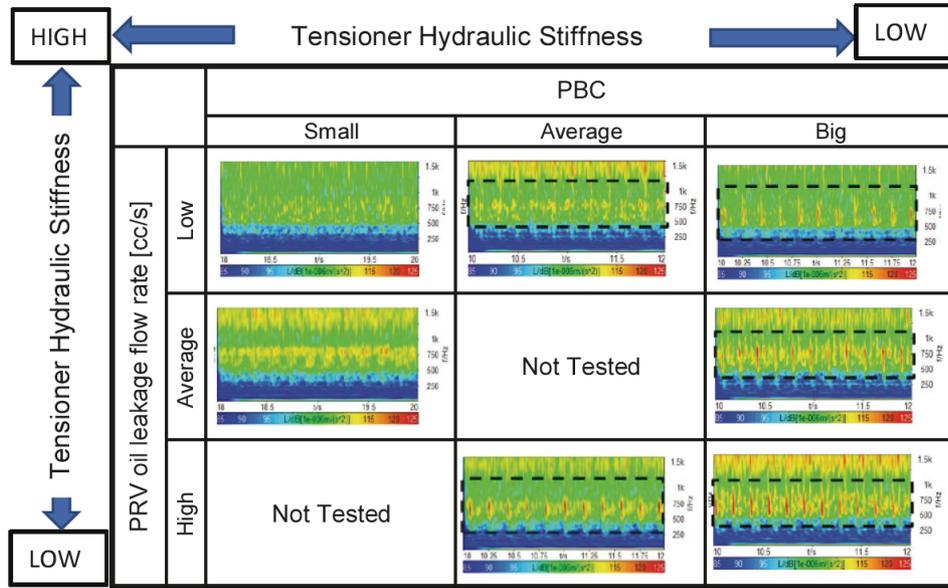
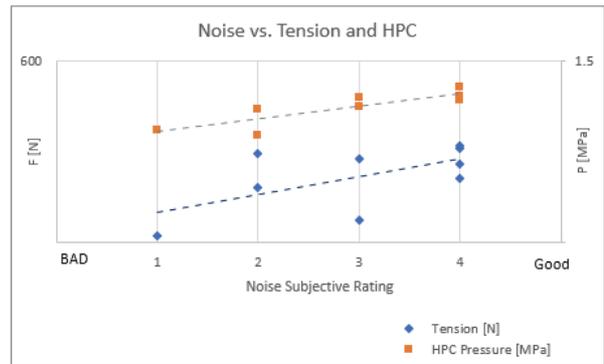
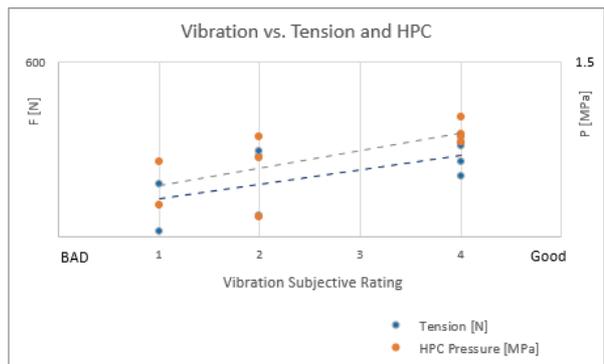


Fig. 5 NVH test result from tensioner hydraulic stiffness change at 120 °C of oil temperature condition

서너 유압강성의 상관관계를 확인하고자, 텐서너의 유압성능의 주요인자인 감압밸브 누설유량 및 텐서너 PB 간극을 변경하면서 소음평가를 진행하였다. Fig. 5는 텐서너 사양 별 엔진 이상 소음 간의 상관관계를 확인하기 위해 진행한 엔진 소음평가 결과이다. 엔진이 저속으로 작동하는 구간에서 오일온도가 증가함에 따라 이상소음이 증폭하였고 텐서너의 유압강성이 증가함에 따라 소음이 감소하거나 제거되었다. 타이밍 체인시스템 구성 부품이 소음발생의 원인 부품이 아니지만 엔진 이상소음에 대하여 텐서너의 강성 증대를 통해 체인 거동을 안정화시키고 체인 장력이 증가하여 관련 엔진 부품의 이상거동을 최소화 시킨 것으로 파악된다. 이 분석 결과는 Fig. 6에서 명확히 확인된다. 엔진 소음 및 진동을 5단계로 나누고 점수를 부여하여 소음이 감소하거나 제거되면 5점, 악화되면 0점이나 1점을 부과한 후 텐서너 고압실의 압력 및 체인장력과의 관계를 그래프로 표현하였다. 텐서너 고압실의 압력상승을 통하여 텐서너의 유압강성이 증가하고 체인거동이 안정화되며 체인장력이 상승하면서 엔진 소음이 감소되는 경향을 확인할 수 있다. 시험 결과를 바탕으로 엔진의 고온 아이들 조건에서 발생하는 이상소음의 개선을 위해서는 텐서너 튜닝을 통하여 체인장력을 증가시켜야 한다. 그러나, 엔진 아이들 조건에서 체인장력이 상승하면 고속조건에서는 체인장력이 급격히 상승하여 체인 내구한계를 초과할 수 있다. 이러한 조건을 고려하여 유압텐서너의 개발이 결정되었고 세밀한 텐서너 튜닝을 위하여 결정된 설계인자는 다음과 같다.



(a) Analysis for engine noise test result



(b) Analysis for engine vibration test result

Fig. 6 NVH testing result with chain tension and HPC pressure

5. 엔진 소음 개선을 위한 텐서너 개발

5.1 스프링 사양 선정

유압식 텐서너의 작동에너지 원천 중 스프링에서 발생하는 기계적 구동력은 텐서너의 유압에너지가 불충분한 상태에서 텐서너가 작동할 수 있는 최소한의 동력을 제공한다. 특히, 엔진 고온 아이들 조건에서 이상소음이 발생하는 경우는 텐서너의 유압에너지가 불충분한 상태로 체인 이상거동이 발생하고 체인장력이 낮아 소음을 증가시킬 수 있다. 스프링 힘을 증대시키는 것이 소음문제 해결의 주요인자는 아니지만 체인장력 증가를 통해 관련 부품의 이상거동을 감소시킬 수 있다. Table 1은 소음 개선을 위하여 텐서너의 스프링 힘을 증대한 사양으로 엔진 전 영역을 거쳐 체인장력이 최소 50 N상승한 것을 실험을 통해 확인하였다.

Table 1 Spring specification for NVH improvement

Spring force	Before	After	Chain tension
New chain condition	80 N	114 N	Min. 50 N increased
Worn chain condition	58 N	80 N	

5.2 텐서너 보어 내경 및 피스톤 외경

텐서너의 유압강성은 텐서너의 오일누설 유량에 영향을 받으며 PB간극은 오일 누설 유량에 큰 영향을 주는 텐서너 설계인자이다. 그래서, 엔진 고온 아이들 조건의 이상소음 해결을 위해서 텐서너 유압강성을 증대하려면 PB간극을 최소화해야 한다. 하지만, 기계부품을 가공하는데 필요한 공차, 부품의 열 변형량 및 텐서너를 엔진에 조립할 때 발생하는 조립볼트의 축력으로 인한 텐서너 바디 변형까지 고려되지 않으면 피스톤이 텐서너 바디 내경에 고착되어 작동할 수 없다. 그러므로, PB간극이 텐서너 유압강성에 큰 영향을 준다는 사실을 알면서도 사양을 조절하는데 한계가 있다.

5.3 텐서너 바디 재질의 선정

일반적으로 엔진의 온도가 상승하면 오일온도 또한 상승하여 밀도 및 점도가 감소한다. 이러한 이유로, 고온 조건에서 텐서너의 오일 누설량이 증가하게 된다. 그러므로, PB간극이 고온조건에서 감소되어야 오일 누설량의 증가를 최소화하고 텐서너의 유압강성을 증대시켜 이상소음을 막을 수 있다. 이러한 이유로 PB간극의 최소화를 위하여 텐서너 바디 재질의 변경을 고려하였다. 최근, 대부분의 유압텐서너는 제품 생산성 및 중량을 고려하여 알루미늄 재질의 바디와 합금 재질의 피스톤을 사용하고 있다. 이중재질 적용으로 인하여 엔진 고온조건

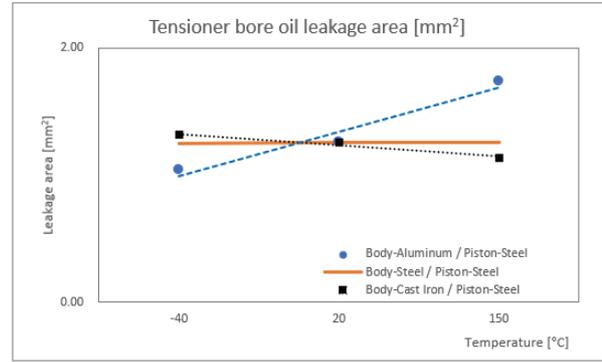


Fig. 7 Variation of leakage area of tensioner bore oil by temperature

에서 부품 간의 열팽창율이 서로 달라 텐서너 PB간극은 증가하고 오일 누설량이 증가하게 된다. 이러한 이중재질 적용의 단점을 해결하기 위하여 합금재질의 텐서너 바디와 피스톤으로 제작된 텐서너가 있으나 부품 가공성으로 인한 부품가 상승 및 중량 증가 측면에 단점이 있고 고온조건에서 PB간극이 팽창하지 않지만 축소되지 않는다. Fig. 7은 텐서너 유압강성 유지에 영향을 주는 PB간극 면적을 온도별로 표현한 그래프이다.

유압식 텐서너에 일반적으로 적용하는 알루미늄 텐서너 바디와 합금 피스톤은 재질의 열팽창계수의 차이로 인하여 고온조건에서 오일 누설면적이 증가한다. 반면에 주물재질의 텐서너 바디를 적용할 경우 오일 누설 면적이 고온일수록 감소하여 엔진 고온 아이들 이상소음 개선을 위해서는 주물재질의 텐서너 바디를 적용하는 것이 적합하다.

5.4 감압밸브의 개발

텐서너 튜닝을 목적으로 감압밸브를 적용할 경우 텐서너의 유압강성에 영향을 주는 오일누설 유량에 가장 큰 영향을 준다. 감압밸브는 텐서너 내부 고압실의 오일 압력에 따라 밸브가 개폐하고 텐서너의 유압강성 조절을 통하여 체인의 장력 및 거동의 제어를 통해 엔진 이상소음을 개선할 수 있다. 특히, 엔진 고온 아이들 이상소음은 밸브가 열리지 않는 조건인 텐서너 고압실 압력이 낮을 때 오일 누설유량과 밀접한 관계를 갖는다. 감압밸브의 저압오일유량은 벤트캡(Vent cap)부품의 유로 치수 조절을 통하여 결정하고, 유로를 형성하는 형상의 깊이, 높이 및 길이가 주요 설계 인자이다.

Fig. 8은 감압밸브 벤트캡 부품의 저압 누설유량을 결정하는 유로의 형상을 나타낸 것으로 본 논문에서 언급된 엔진 이상소음을 개선하기 위하여 유로의 길이 및 형상을 변경하여 저압 누설 유량을 최소화 하였다. 감압밸

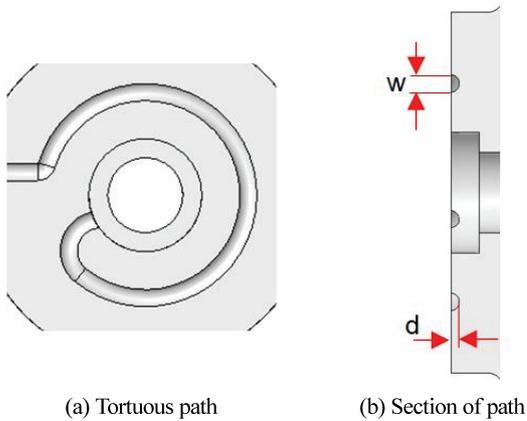


Fig. 8 Oil path on PRV vent cap

브의 벤트캡은 일반적으로 플라스틱 소재를 금형에 투입하여 형상을 제작하지만 시험을 위하여 다양한 치수를 적용하기에는 한계가 있다. 유량시험을 위해서 유로의 폭과 깊이를 변경하여 가공공정으로 샘플을 제작하였다. 시험 후 감압밸브 벤트캡 유로 면적과 누설유량 간의 선형적인 관계를 확인하였으며 이를 개선 부품 설계 사양에 반영하였다.

6. 결론

엔진의 고온 아이들 이상소음 개선을 목적으로 유압식 텐서너의 유량 조절 인자와 체인 거동 간의 관계를 확인하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 엔진이 아이들 시 오일온도가 증가함에 따라 이상소음이 증폭하였고 텐서너의 유압강성이 증가함에 따

라 소음이 감소하거나 제거되었다.

- 2) 엔진 오일 120 °C조건에서 유압 텐서너의 PB간극과 감압밸브의 저압유량이 감소함에 따라 엔진 고온 아이들 이상소음이 감소하였고 이는 텐서너의 유압강성과 이상소음 간의 선형적인 관계를 나타내고 있다.
- 3) 유압 텐서너 튜닝의 주요인자인 PB간극 조절을 통하여 텐서너의 유압 강성을 증대할 수 있으나 부품의 공차 및 열 팽창량의 차이로 한계가 존재하며 텐서너 바디 재질의 변경을 통해 한계를 극복할 수 있다.
- 4) 엔진 이상소음에 대하여 텐서너의 강성 증대를 통해 체인 장력이 상승하고 체인 거동이 안정되면 관련 엔진 부품의 이상거동을 최소화시켜 소음을 개선할 수 있다.

References

- 1) G. Yu, T. Jung and C. Cho, “Dynamic Analysis of Vibration and Tension on Hydraulic Tensioner for Timing Chain System by Variation of Leakage Gap,” KSAE Fall Conference Proceedings, p.500, 2017.
- 2) S. Hong, Functional Statement-Hydraulic Tensioner, BorgWarner Morse Systems Design Guide, 2015.
- 3) M. Crump, Functional Statement - Pressure Relief Valve(PRV), BorgWarner Morse Systems Design Guide, 2015.
- 4) H. Kwon, K. Song, B. Lee, J. Lee and H. Kim, “Development of Rubber Coating Crank Shaft Sprocket for Passenger Car Diesel,” KSAE Annual Conference Proceedings, pp.98-102, 2014.